

孙燕, 刘建明, 曾庆栋, 等. 综合地球物理方法在某金多金属矿区找矿中的应用. 地球物理学进展, 2010, 25(6): 2096~2101, DOI:10.3969/j.issn.1004-2903.2010.06.028.

Sun Y, Liu J M, Zeng Q D, *et al.* Application of comprehensive geophysical methods in ore prospecting in one Au polymetallic mineralizing area. *Progress in Geophys.* (in Chinese), 2010, 25(6): 2096~2101, DOI:10.3969/j.issn.1004-2903.2010.06.028.

综合地球物理方法在某金多金属矿区找矿中的应用

孙燕^{1,2}, 刘建明¹, 曾庆栋¹, 张作伦^{1,2}, 张松^{1,2},
汪在聪^{1,2}, 褚少雄^{1,2}, 叶杰¹, 于昌明¹

(1. 中国科学院地质与地球物理研究所矿产资源研究重点实验室, 北京 100029; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要 某金多金属矿区地表矿化痕迹较多, 矿化体和围岩物性差异明显, 为了准确查明区内矿体的空间分布以及控矿构造, 在该区实施了对称四极装置的激电扫面和EH4连续电导率测深工作. 激电测量获得了总体呈NE走向、与地表矿带对应的中高视电阻率(ρ_s)及中高视极化率(η_s)矿化异常带. 异常带西窄东宽, 矿化集中在测区327°向测线800~1350 m处; 在与已知矿体对应的 η_s -2高极化率激电异常开展的EH4测深工作结果进一步确定了深部成矿潜力: 含矿构造延深可达500 m, 具有低阻异常特征, 倾角近直立. 激电扫面和EH4测深相结合的综合物探方法在该区达到了查明矿体分布规律、控矿构造的目的, 是有效的多金属矿找矿方法之一.

关键词 地球物理勘探, 激发极化法, 对称四极, EH4, 找矿, 多金属矿

DOI:10.3969/j.issn.1004-2903.2010.06.028

中图分类号 P631

文献标识码 A

Application of comprehensive geophysical methods in ore prospecting in one Au polymetallic mineralizing area

SUN Yan^{1,2}, LIU Jian-ming¹, ZENG Qing-dong¹, ZHANG Zuo-lun^{1,2},
ZHANG Song^{1,2}, WANG Zai-cong^{1,2}, CHU Shao-xiong^{1,2},
YE Jie¹, YU Cang-ming¹

(1. Key Laboratory of Mineral Resources, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;
2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract Based on the surface geological and physical property measurement work in detail, we have found many surface mineralization traces in one Au and polymetallic mineralization area, and the physical properties differences between mineralized bodies and wall rocks were evident. To ascertain the spatial distribution and controlling structures of ore bodies, we have carried out IP symmetrical quadrupole survey and EH4 electromagnetic measurement in this area. IP survey result shows that mineralization abnormality belt is NE-trending, with middle-high ρ_s and η_s , and mineralization center is located at 800~1350 m of the 327° orientation measuring line, which is much narrow in west than east. EH4 electromagnetic sounding, used in η_s -2 (with high η_s and corresponding to known orebody), for further exploration of deep mineralizing perspective: depth of ore-bearing structure is 500 m, characterized by low ρ_s and sub-vertical dip. Hence, the combination of IP survey and EH4 electromagnetic measurement have reached the target of finding out the regularities of ore body distribution and ore-controlling structures in this area, and they are effective polymetallic prospecting methods.

Keywords geophysical exploration, IP, symmetrical quadrupole, EH4, prospecting, polymetallic ore

收稿日期 2010-03-15; 修回日期 2010-08-20.

基金项目 中国科学院创新工程重大项目(80872200)资助.

作者简介 孙燕, 女, 1985年生, 现为中国科学院地质与地球物理研究所硕博连读研究生, 主要从事矿床地质学与矿产勘探工作.
(E-mail: yansun850121@163.com)

0 引言

综合物探方法,比如磁法、甚低频、激发极化法和EH4电导率法等两种以上方法相结合,具有设备轻便、效率高、指导找矿针对性强等优点,是一种公认的、极其有效的勘查手段,已经在矿产勘查各个方面起到了广泛的应用^[1~6,8]。某金多金属矿区地质调查表明含有硫化矿物、矿化蚀变发育,在空间上还受到某些构造破碎带控制,这些地质因素往往与围岩存在着明显的物性差异,提供了良好的地球物理勘探前提。因此,我们运用对称四极装置的激发极化电测系统和高分辨率EH4电磁成像系统在该矿区进行勘查工作,以期结合地质资料查明本区矿体的赋存状态、空间展布、矿化规律等,为下一步工程验证提供可靠依据。

1 仪器原理和特点介绍

1.1 激发极化电测系统

本次激发极化法(IP)测量使用的DWJ-3B型微机激电仪是北京地质仪器厂生产的直流电法仪,它能直接测量自电、一次电位、极化率,并且同屏显示。其原理是利用岩、矿石之间的激发极化特性的差异,人工供电使大地形成激发极化场,并通过观测和采集来获得不同地质体的视电阻率(ρ_s)、视极化率(η_s)等参数(物性特征),进而对这些参数进行研究,发现特征差异,据此进行找矿、找水和解决其他地质问题^[7]。该仪器采用信号增强技术和数字滤波,抗干扰能力强,测量精度高,既可进行地面所有装置的激

电测量、电阻率测量,也可进行井中的连续激电测井和井中激电测量,广泛用于多金属矿矿产资源勘探、寻找地下水、电测深勘察,及工程物探工作。

1.2 EH4连续电导率成像系统

本次电磁测量使用的EH4连续电导率成像系统是由美国GEOMETRICS和EMI公司联合生产的一套轻便、快速、节能、频率域与时间域相结合的电导率测量系统,采用了最新数字讯号处理器的硬、软件装置,代表目前国际上先进的电磁法勘探手段^[9~11]。该系统使用人工电磁场(1~100 kHz)与天然电磁场(10~1 kHz)相结合测量大地电阻率,首先通过对测点电磁场正交分量的观测,得出相互正交的时域电场分量 E_x 、 E_y 和磁场分量 H_x 、 H_y ,然后通过傅氏变换,功率谱计算,求得地质体视电阻率值,再用专业软件处理,可得到深度-电阻率二维等值图,以此作为物探、地质综合解释的图件^[11,13]。其有效探测深度为800~1200 m,具有较高的分辨率,为探测某些小的地质构造和区分电阻率差异不大的地层提供了可能性^[6]。该系统除进行地质找矿外,还可以用于地下水调查、工程地质勘查、基岩起伏调查、地质构造填图及环境调查等诸多方面^[10,12]。

2 IP和EH4在某金多金属矿区中的应用

2.1 研究区地质概况

研究区为金多金属矿区,矿区出露的地层除第四系外,主要为奥陶系红花园组(O_1h)微晶灰岩和白云岩以及志留系高家边组(S_1g)砂质、泥质板岩,地层走向NE向,总体倾向NW,两套地层间为断层

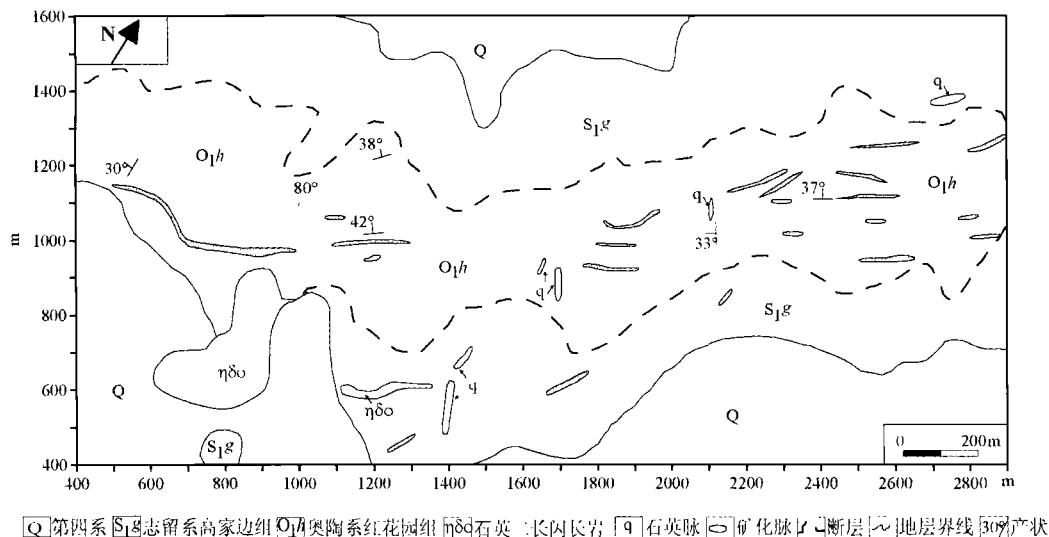


图1 研究区地质简图

Fig. 1 Geological map of the study area

接触(图 1)。区内构造主要表现为 NW 向、NNE 向、NE 向的断裂构造,造成了地层的缺失并多被后期石英脉或褐铁矿化脉充填,其中 NNE 向和 NE 向构造是本区主要控矿构造。区内出露侵入岩为石英二长闪长岩,风化较严重,原始露头较少,主体侵入矿区西南奥陶系红花园组地层内(图 1)。

区内矿化特征主要由废弃矿洞口、通风口、选场处矿石和地表众多规模不等矿化脉揭示。矿体主要呈脉状产出,矿化脉不连续,受裂隙构造控制,走向 NE,主要产于红花园组地层内(图 1)。矿石中主要金属矿物为黄铁矿及其氧化物褐铁矿,此外有少量方铅矿、孔雀石、蓝铜矿,黄铁矿是区内已知载金矿物。矿区围岩蚀变主要有硅化、大理岩化、透闪石化。此外,矿区出露有大量石英脉(图 1),石英脉表面多具有褐铁矿化蚀变,少数石英脉内见有原生黄铁矿。

2.2 激发极化测量与结果解译

本次激电测量使用的方法是时间域激发极化法

(TDIP),采用的装置为对称四极装置,同步方式选择外控同步(长导线测量),供电电极 $AB=80\text{ m}$,测量电极 $MN=8\text{ m}$,获得的表征金属矿体激电异常的参数为视电阻率(ρ_s)、视极化率(η_s)。研究区实施测线 26 条(L400~L2900),测线方向 327° (每条测线起点 400 m 处,终点 1600 m 处),线距 100 m,点距 40 m,测点 803 个,测点位置均由亚米级差分 GPS 确定,测线总长 31200 m,面积 3 km^2 。

2.2.1 视电阻率

(1) 测量结果

测区视电阻率最低值 $34.6\ \Omega\cdot\text{m}$,最高值 $3469.6\ \Omega\cdot\text{m}$,平均值 $396.2\ \Omega\cdot\text{m}$ 。视电阻率图像结构清晰,整体呈一贯穿测区、宽度较大、走向 NE 异常带展布,在此异常带内又可细分出八个小异常带。异常带以中高电阻率为特征,红花园组地层视电阻率相对高家园组高(图 2)。

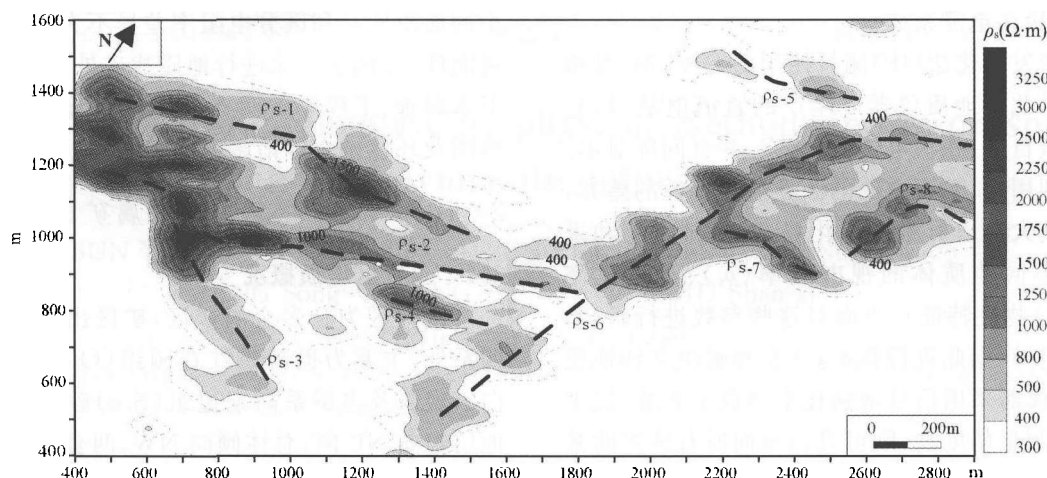


图 2 激电对称四极测量-视电阻率异常平面图

Fig. 2 The ρ_s anomaly plan map from the IP symmetrical quadrupole survey

ρ_s -1 异常长 1200 m,宽 50~100 m,走向 NEE 向。

ρ_s -2 异常长 1450 m,宽 40~100 m,走向由 NEE 向—NW 向—NEE 向。

ρ_s -3 异常长 500 m,宽 50~100 m,走向 NW 向。

ρ_s -4 异常长 320 m,宽 80 m,走向 NEE 向。

ρ_s -5 异常长 500 m,宽 20~80 m,走向由近 EW 向过渡为 NEE 向,表现为中低电阻率。

ρ_s -6 异常长 1800 m,宽 50~200 m,走向由 NNE 过渡为 NE 向。

ρ_s -7 异常长 420 m,宽 20~100 m,走向近 EW 向。

ρ_s -8 异常长 400 m,宽 50~200 m,走向由 NNE 过渡为近 EW 向。

(2) 地质解译

ρ_s -1 异常位于红花园组白云质灰岩内,所在位置地表无明显矿化痕迹,中高电阻率可能是隐伏硅化脉与地层叠加引起。

ρ_s -2 异常位于红花园组地层中,所在位置出露有矿化带,异常形态与矿化带形态较一致,中高电阻率应为含石英脉引起,可能叠加有地层因素。

ρ_s -3 异常位于地层与岩体接触带上,所在位置无矿化,可能由受后期破坏较弱岩体引起,也可能由无矿硅化地层引起。

ρ_s -4 异常位于红花园组地层中,地表无矿化。中高电阻可能为地层硅化,或地层受构造破坏较弱、较

完整引起。

ρ_s-5 异常位于高家边组砂质、泥质板岩内,地表无矿化,异常延伸方向存在一较大石英脉。中低电阻率可能为隐伏石英脉和地层叠加反应,也可能仅为完整地层引起。

ρ_s-6 异常带规模较大,断续延伸,在高家边组地层内表现为中低电阻率,在红花园组地层内表现为中高电阻率;异常延伸方向有较多矿体对应,应为含矿硅化脉与较完整地层叠加引起。

ρ_s-7 和 ρ_s-8 异常位于红花园组地层内,出露有

含矿探槽,可能为隐伏硅化地层或受后期构造改造较弱地层引起。

2.2.2 视极化率

(1) 测量结果

测区视极化率最低值 0.09%,最高值 3.65%,平均值 0.52%。视极化率图像结构清晰,整体表现为一贯穿测区、宽度较大走向 NE 异常带。异常进一步可细分出九个小异常带。异常带以中高级化率为特征,红花园组地层视极化率相对高家园组低(图 3)。

η_s-1 异常长 1100 m,宽 50~100 m,走向 NEE 向。

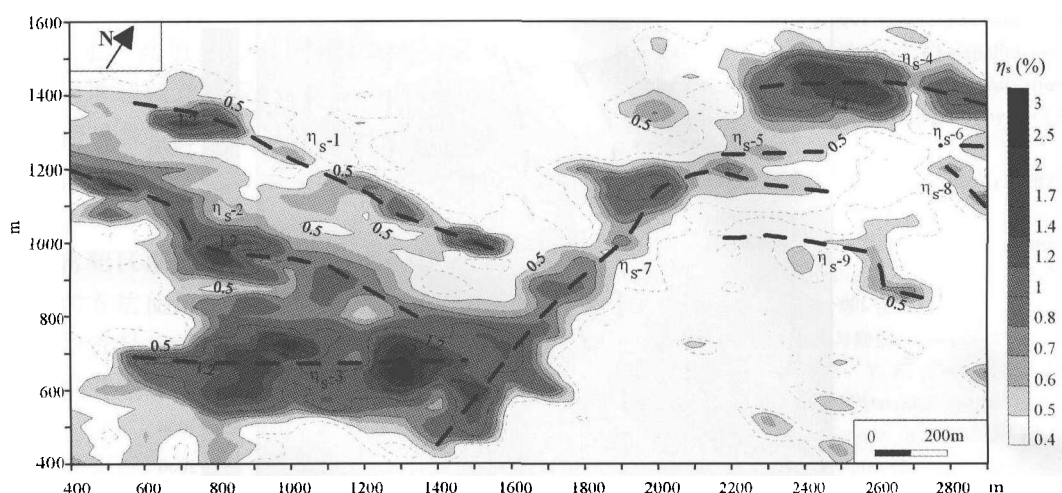


图 3 激电对称四极测量-视极化率异常平面图

Fig. 3 The η_s abnormality plan map from the IP symmetrical quadrupole survey

η_s-2 异常长 1020 m,宽 50~200 m,走向 NEE—NW—NEE—近 EW 向。

η_s-3 异常长 950 m,宽 50~300 m,走向 NE 向。

η_s-4 异常长 700 m,宽 100~200 m,走向 NE 向。

η_s-5 异常长 360 m,宽 50 m,走向 NE 向。

η_s-6 异常长 120 m,宽 50 m,走向 NE 向。

η_s-7 异常长 1300 m,宽 50~200 m,走向 NNW—NE—EW—NEE 向。

η_s-8 异常长 200 m,宽 50 m,走向 NWW 向。

η_s-9 异常长 600 m,宽 20~80 m,走向 NE—NW—NEE 向。

(2) 地质解释

η_s-1 异常位于红花园组大理岩中,与 ρ_s-1 电阻率异常对应,结合 ρ_s-1 特征,推测 η_s-1 异常为含金属硫化物硅化地层引起。

η_s-2 异常位于红花园组大理岩地层中,地表对应应有矿体,与 ρ_s-2 电阻率异常大致对应,推测为矿体引起。

η_s-3 异常主体对应于石英二长闪长岩,石英二长闪长岩内铁镁质矿物可以引起激电异常,此外,该石英二长闪长岩内含有黄铁矿化,也可引起激电异常。

η_s-4 异常位于高家边组砂质、泥质板岩中,对应有一规模较大石英脉,石英脉表面褐铁矿化,与电阻率 ρ_s-5 异常对应,可能为含金属矿化硅化脉引起。

η_s-5 、 η_s-6 及 η_s-7 异常组合与 ρ_s-6 对应,该异常带规模较大,断续延伸,跨越红花园组和高家边组地层,延伸方向有较多矿体对应,推测为矿体引起,并且矿体不连续、存在多条矿脉。

η_s-8 异常位于红花园组地层中,地表见有大量硅化转石,但对应电阻率为中低阻。推测所在位置为一后期构造破碎带,可能埋藏有隐伏含金属矿物硅化脉,也可能后期构造带含大量水,汇集了附近矿化带金属离子,进而引起极化率异常。

η_s-9 异常主体位于红花园组灰岩中,部分位于高家边组砂岩中,异常地表对应应有矿化体,电阻率为

中高阻,推测该异常可能为硅化矿体引起。

2.3 EH4 连续电导率测量及结果解译

野外共开展 EH4 电磁测深线 1 条(L800),测线方向 327° ,测点 30 个,点距 20 m,极距 40 m,测线总长 600 m(从 500 m 到 1100 m),测深断面深 600 m,主要针对已知矿带(η_s-2 高极化率异常带)展开的,探测含矿构造、高极化率异常体向深部延伸情况以及深部成矿潜力。

2.3.1 测量结果

如图 4 所示,深度-视电阻率断面图上高、低电阻率结构清晰,深部为中高电阻率,浅部在中高电阻率背景下叠加了中低电阻率异常。图中存在五个倾角近直立向上延伸至地表的较清晰低阻异常带,地表分别对应于 540 m、780 m、840 m、960 m 及 1045 m 处,异常带宽 10~90 m,延深—200~—500 m。此外断面顶部具有一倾角较缓低阻异常区。

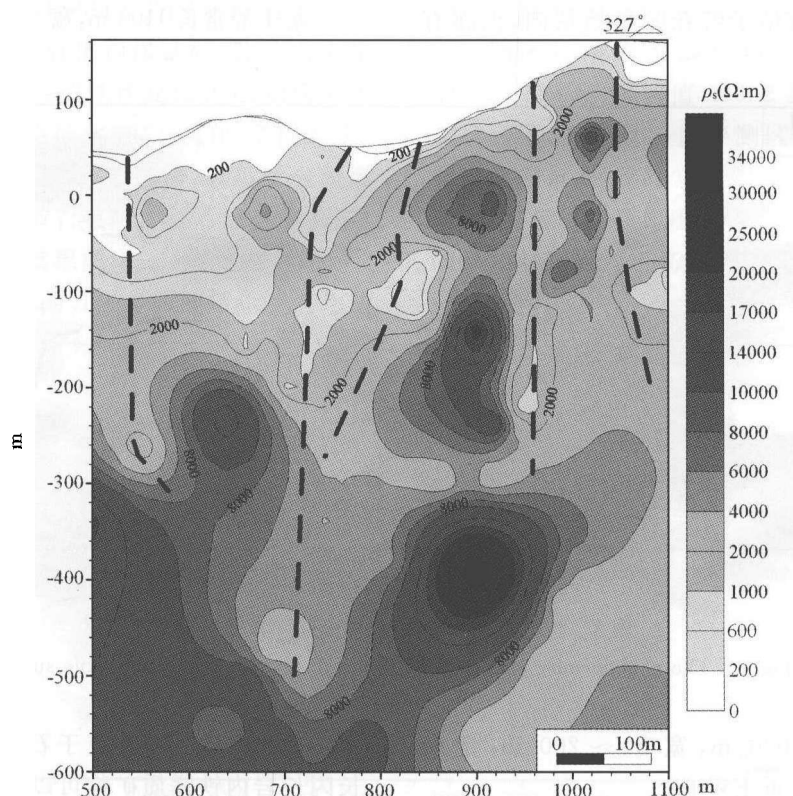


图 4 L800 线 EH4 电磁测量-视电阻率断面图

Fig. 4 The ρ_s sectional drawing from EH4 electromagnetic measurement of line 800

2.3.2 地质解译

断面地表 540 m 处为高家边组地层与石英二长闪长岩接触带,540~740 m 为石英二长闪长岩分布区,740~1100 m 为红花园组地层,其中 960 m 附近为已知矿带位置。EH4 测量图像中断面顶部常存在一低阻异常,为第四系覆盖物引起。

540 m 处低阻异常对应于高家边组地层与岩体分界处,可能因接触带破碎充水形成。

780 m 处低阻异常与红花园组地层-岩体接触带对应,浅部与深部电阻率不同可能因地质体不同,也可能因破碎充水程度不同而成。

840 m 处低电阻率带与激电测量 500~800 m 低电阻率带大致对应,附近 EH4 低阻异常带可能代表了岩体-红花园组地层较破碎接触带与较完整红花园组地层的分界线。

960 m 处的低阻异常带与已知矿化体及激电测量(η_s-2)高值中心对应,应为含矿构造,其两侧高电阻率异常推测为受构造活动影响较弱的地层。

1045 m 处的低阻异常所在位置在激电测量结果上表现为低电阻率、中等极化率,地表发现有宽 2 cm 石英细脉,推测该低阻异常为一隐伏含矿构造,构造在标高 50 m 以上发育程度较差。

3 结 论

(1)利用激发极化法和 EH4 电磁成像系统勘查某金多金属矿区,首先通过大比例尺的激发极化法对称四极面积性测量,可圈定激电异常的分布范围及形态特征,然后在激电异常区的有利部位进行 EH4 测深可了解极化体的埋藏深度和空间赋存状态。

(2)激电测量结果表明区内矿化异常体具有中高视电阻率(ρ_s)及中高视极化率(η_s)特征,异常带呈西窄东宽的 NE 向带状展布,矿化集中在测区 327° 方向测线 800~1350 m 处。

(3)L800 线 EH4 测深断面图查明了已知矿化体(与激电测量 η_s -2 高值中心对应)两侧的构造及矿体在深部的延伸和赋存情况。含矿构造延深可达 500 m,具有低阻异常特征,倾角较陡直。

以上综合说明,激发极化法和 EH4 电磁测深相结合的地球物理勘探方法在多金属矿区前期勘查中对于快速的异常靶区圈定、矿体深部定位是行之有效的。不过,这些方法使用时必须和实际地质、实际工程及地球化学资料相结合来布测线、解释异常现象才能达到预期的效果,并且实际的情况还得靠下一步的工程来验证。

致 谢 野外工作期间,得到了蒋鑫、李磊、罗安明等同志的大力支持和帮助,在此表示衷心的感谢!另外,非常感谢贵刊编辑和专家们在百忙中抽出了宝贵的时间对文章进行审阅并提出宝贵的修改意见!

参 考 文 献 (References):

- [1] 严加水,滕吉文,吕庆田. 深部金属矿产资源地球物理勘查与应用[J]. 地球物理学进展,2008,23(3):871~891.
Yan J J, Teng J W, Lü Q T. Geophysical exploration and application of deep metallic ore resources [J]. Progress in Geophysics(in Chinese),2008,23(3):871~891.
- [2] 吴华,徐兴旺,莫新华,等. 东天山白石泉矿区地球物理多方法联合探查与隐伏铜镍矿定位预测[J]. 中国地质,2006,33(3):672~681.
Wu H, Xu X W, Mo X H, *et al.* Exploration by combined geophysical methods and location prediction of buried Cu- Ni deposits in the Baishiquan area, eastern Tianshan, Xinjiang[J]. Geology in China,2006,33(3):672~681.
- [3] 陈伟军,刘红涛. 综合地球物理方法在隐伏矿床勘查中的应用——以内蒙古赵家围子银铅锌多金属矿床为例[J]. 地球物理学进展,2009,24(1):293~302.
Chen W J, Liu H T. Integrated geophysical exploration for concealed ore beneath cover in the Zhaojiaweizi area, Inner Mongolia, northern China [J]. Progress in Geophysics (in Chinese),2009,24(1):293~302.
- [4] 张作伦,曾庆栋,于昌明,等. 利用 EH4、GDP-32 II 预测内蒙新民煤田煤系地层空间特征[J]. 地球物理学进展,2009,24(1):303~308.
Zhang Z L, Zeng Q D, Yu C M, *et al.* Application of EH4 and GDP-32 II to forecast underground coal formation stratum space distribution characteristics in Xinmin, Inner Mongolia[J]. Progress in Geophysics(in Chinese),2009,24(1):303~308.
- [5] 刘红涛,杨秀瑛,于昌明,等. 用 VLF、EH4 和 CSAMT 方法寻找隐伏矿——以赤峰柴胡栏子金矿床为例[J]. 地球物理学进展,2004,19(2):276~285.
Liu H T, Yang X Y, Yu C M, *et al.* A case study in finding concealed ores by using geophysical exploration methods in combination of VLF-EM, EH4 and CSAMT [J]. Progress in Geophysics(in Chinese),2004,19(2):276~285.
- [6] 孙兴国,刘建明,刘洪涛,等. 综合物探方法在好力宝铜矿床的应用[J]. 地球物理学进展,2007,22(6):1910~1915.
Sun X G, Liu J M, Liu H T, *et al.* The application of integrated geophysical prospecting method to the evaluation of haolibao copper deposits [J]. Progress in Geophysics (in Chinese),2007,22(6):1910~1915.
- [7] 刘兴国. 电法勘探原理与方法[M]. 北京:地质出版社,2003,95~129.
Liu X G. Principles and methods of electrical prospecting[M]. Beijing:Geological Publishing House,2003,95~129.
- [8] 李祥才,张志伟,敖颖锋,等. 激电法在辽宁柏杖子金矿勘查中的作用及意义[J]. 地质与勘探,2009,45(2):74~79.
Li X C, Zhang Z W, Ao Y F, *et al.* The application and significance of the induced-polarization method in exploration of the Baizhangzi Gold deposit in Liaoning[J]. Geology and Prospecting,2009,45(2):74~79.
- [9] 申萍,沈远超,刘铁兵,等. EH4 连续电导率成像仪在隐伏矿体定位预测中的应用研究[J]. 矿床地质,2007,26(1):70~78.
Shen P, Shen Y C, Liu T B, *et al.* Application of stratagem EH4 system to prediction of hidden ore bodies[J]. Mineral Deposits,2007,26(1):70~78.
- [10] 伍岳. EH4 电磁成像系统在砂岩地区勘查地下水的应用研究[J]. 物探与化探,1999,2(5):335~338.
Wu Y. The application of EH4-electromagnetic image system to ground water exploration in sandstone areas[J]. Geophysical and Geochemical Exploration,1999,23(5):335~338.
- [11] 高才坤,汤井田,王烨,等. 基于 RRI 反演的高频大地电磁测深在深边部矿产勘探中的试验研究[J]. 地球物理学进展,2009,24(1):309~314.
Gao C K, Tang J T, Wang H, *et al.* The test research of high frequency MT based on RRI inversion in exploring deep and limbic minerals[J]. Progress in Geophysics(in Chinese),2009,24(1):309~314.
- [12] 孟贵祥,兰险. EH-4 电导率成像系统的特点及其在金属矿勘探中的应用[J]. 矿床地质,2006,25(1):36~42.
Meng G X, Lan X. Characteristics of EH-4 electrical conductivity imaging system and its application to ore exploration [J]. Mineral Deposits,2006,25(1):36~42.
- [13] 沈远超,申萍,刘铁兵,等. EH4 在危机矿山隐伏金矿体定位预测中的应用研究[J]. 地球物理学进展,2008,(23)1:559~567.
Shen Y. C, Shen P, Liu T. B, *et al.* Prediction of hidden gold orebodies in depleted mines by the Stratagem EH4 system[J]. Progress in Geophysics(in Chinese),2008,(23)1:559~567.